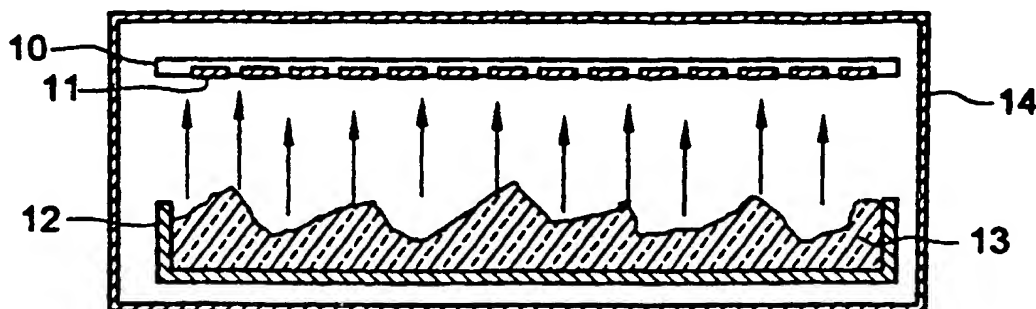


## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>7</sup> : <b>G01T 1/24, H01L 27/146</b>	<b>A1</b>	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 00/57205</b> (43) Date de publication internationale: 28 septembre 2000 (28.09.00)
--	-----------	--

(21) Numéro de la demande internationale: <b>PCT/FR00/00685</b> (22) Date de dépôt international: <b>20 mars 2000 (20.03.00)</b>	(81) Etats désignés: <b>US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</b>
(30) Données relatives à la priorité: <b>99/03588                      23 mars 1999 (23.03.99)                      FR</b>	<b>Publiée</b> <i>Avec rapport de recherche internationale.</i>
(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): <b>COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31-33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).</b>	
(72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): <b>VERGER, Loïck [FR/FR]; 49, rue du Vercors, F-38000 Grenoble (FR). PEYRET, Olivier [FR/FR]; 1, rue Malfanjouze, F-38120 Le Fontanil (FR). ARQUES, Marc [FR/FR]; 48, rue Maurice Barres, F-38100 Grenoble (FR). WOLNY, Michel [FR/FR]; 10, rue du Vercors, F-38000 Grenoble (FR).</b>	
(74) Mandataire: <b>LEHU, Jean; Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).</b>	

(54) Title: **X-RAY IMAGING DEVICE AND METHOD FOR MAKING SAME**(54) Titre: **DISPOSITIF D'IMAGERIE DE RAYONNEMENT X ET PROCEDE DE REALISATION D'UN TEL DISPOSITIF**

## (57) Abstract

The invention concerns an X-ray imaging device comprising at least a detecting matrix made of semiconductor material, including pixels (11), to convert the incident X-ray photons into electrical charges, and a silicon-based panel (10) for reading the electrical charges, comprising a plurality of electronic devices, each electronic device being incorporated at a pixel (11), wherein each detecting matrix is provided by a semiconductor material layer vapour-phase deposited on the panel for reading electrical charges. The invention also concerns a method for making such an imaging device.

## (57) Abrégé

La présente invention concerne un dispositif d'imagerie de rayonnement X qui comprend au moins une matrice détectrice en matériau semi-conducteur, comportant des pixels (11), pour convertir les photons X incidents en charges électriques, et un panneau (10) de lecture de charges électriques, à base de silicium, comprenant une pluralité de dispositifs électroniques, chaque dispositif électronique étant intégré au niveau d'un pixel (11), dans lequel chaque matrice détectrice est réalisée par une couche en matériau semi-conducteur déposé en phase vapeur sur le panneau (10) de lecture de charges électriques. L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un tel dispositif d'imagerie.

# **UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

2/p<sub>2</sub>1s

1

**DISPOSITIF D'IMAGERIE DE RAYONNEMENT X ET PROCEDE DE  
REALISATION D'UN TEL DISPOSITIF**

DESCRIPTION

5

Domaine technique

La présente invention concerne un dispositif d'imagerie de rayonnement X, par exemple de grande dimension, apte à fonctionner en mode radiographie ou en mode radioscopie, et le procédé de réalisation d'un tel dispositif.

L'invention s'applique en particulier à l'imagerie médicale.

15 Etat de la technique antérieure

Dans le domaine de l'imagerie radiologique, on distingue deux types d'applications qui diffèrent l'une de l'autre par leur principe d'acquisition. Dans l'application radiographie, une seule image est acquise alors que dans l'application radioscopie, c'est une série d'images qui est acquise au rythme vidéo de vingt cinq images par seconde.

Dans les systèmes de radiographie actuellement mis sur le marché, la prise de l'image est analogique alors que dans les systèmes de radioscopie, elle est numérique.

L'intérêt de l'obtention d'une image numérique est telle (possibilité de traitement de l'image, archivage de données...) que, dans le cas de la radiographie, plusieurs solutions sont proposés pour transformer le signal analogique détecté en signal numérique.

Dans les dispositifs radiographiques, les moyens de détection des rayonnements X comportent des films sensibles aux rayons X et émettant de la lumière,

laquelle est lue par des écrans renforçateurs (par exemple en BaFBr ou en BaFC1).

Un premier mode de réalisation permettant d'obtenir une information numérique consiste à coupler ces films à une caméra vidéo, elle-même couplée à un intensificateur d'image. L'image numérique ainsi obtenue est instantanée mais de qualité médiocre (mauvaise résolution spatiale, faible rendement de conversion, bruit...).

Un deuxième mode de réalisation consiste à remplacer le film muni d'écrans renforçateurs par un écran luminescent à mémoire photostimulable. Cet écran garde en mémoire l'énergie stockée pendant l'exposition aux rayonnements X. L'information contenue dans cette énergie est lue en différé après la soumission de l'écran au balayage d'un faisceau laser. Ce mode de réalisation présente les inconvénients suivants : le dispositif radiologique est encombrant, l'image numérique n'est pas obtenue instantanément et le temps de traitement de l'information est long (de 40 à 60 secondes).

Un troisième mode de réalisation consiste à utiliser un détecteur comportant un photoconducteur à base de sélénium mettant en oeuvre le principe de la xéradiographie : la charge initialement créée à la surface du sélénium par effet Corona dépend de la quantité de photons X détectés. Les variations de la charge sont lues par des microsondes par effet capacitif. Après son exposition aux rayons X et la lecture de la charge créée, la couche de sélénium doit être rechargée. Le dispositif radiologique mettant en oeuvre ce mode de réalisation est encombrant et la lecture de l'information est lente, d'environ quinze secondes, excluant son utilisation en mode radioscopie.

Dans les dispositifs utilisés en radioscopie, les moyens de détection numériques comportent un Intensificateur d'Image Radiologique (IIR), appelé aussi amplificateur de brillance. Ce détecteur permet  
5 de faire de l'imagerie en temps réel, a une excellente sensibilité mais présente un champ image limité par la taille maximale des tubes à vide (40 cm), une résolution spatiale modeste, des distorsions d'images et un encombrement important.

10 Depuis quelques années, de nouveaux détecteurs bidimensionnels numériques à lecture directe sont apparus, leur utilisation étant toutefois limitée au seul mode radiographie. Ces nouveaux détecteurs ont la particularité de pouvoir être réalisés en grande  
15 dimension (par exemple  $40 \times 40 \text{ cm}^2$ ).

Sont apparus, d'une part des détecteurs comportant des écrans luminescents associés à une caméra couplée optiquement (CCD), nécessitant une  
20 réduction optique pour les grands champs et d'autre part, des détecteurs à panneaux plats à base de silicium amorphe, tels que décrits dans le document référencé [1] en fin de la description.

La technologie de réalisation des panneaux plats à base de silicium amorphe est basée sur celle  
25 des afficheurs à cristaux liquides. Un panneau est une matrice de lecture de charge, en silicium amorphe (a-Si:H), comportant des pixels. La lecture du panneau s'effectue avec un système de commutateurs (transistors) avec une commande par les lignes et une  
30 lecture par les colonnes. Toute la colonne est lue pendant le balayage et le traitement électronique de la charge est effectué sur une électronique déportée. Ce procédé de lecture génère un bruit important (2 000 à 5 000 électrons).

Il existe deux modes de réalisation d'un détecteur utilisant un tel panneau de lecture :

La réalisation la plus courante consiste à recouvrir chaque pixel du panneau de lecture d'une photodiode et de mettre en contact les photodiodes avec un scintillateur, par exemple en CsI :Tl. Les photodiodes convertissent le rayonnement lumineux en charges électriques lues par le panneau à base de silicium amorphe. Ce type de dispositif présente un problème de rendement lié à la détection indirecte des photons : le signal détecté est de faible amplitude. Par ailleurs, l'utilisation du CsI ne permet pas d'obtenir une bonne absorption des photons par le CsI et des mesures ayant une bonne résolution spatiale : il faut faire un compromis. De plus, un phénomène de luminescence intervenant après l'arrêt du rayonnement X dans le scintillateur empêche le fonctionnement de ce dispositif en mode radioscopie. Enfin les dispositifs de ce type présentent un faible taux de remplissage (de 50 à 70 %).

Une seconde réalisation consiste à déposer une couche de sélénium amorphe sur le panneau lecture, cette couche de sélénium amorphe convertissant directement le rayonnement X en charges électriques. Le sélénium impose certaines contraintes liées au fait qu'il soit un élément léger. Cette caractéristique lui impose d'être déposé en couche épaisse pour pouvoir arrêter les photons et ceci au détriment de l'efficacité de collection des porteurs de charges. Et ceci nécessite l'application d'une différence de potentiel importante (de l'ordre de grandeur de 10 V/ $\mu$ m) pour polariser le détecteur, ce qui est pénalisant pour une utilisation dans le domaine médical.

En conclusion, à ce jour, aucun dispositif n'est en mesure de fonctionner en mode radiographie et en mode radioscopie.

L'invention a pour but de réaliser un  
5 dispositif d'imagerie numérique comportant un détecteur bidimensionnel numérique, apte à fonctionner aussi bien en mode radiographie qu'en mode radioscopie, ayant une bonne efficacité de détection et pouvant être réalisé en grande dimension.

10

#### Exposé de l'invention

La présente invention concerne un dispositif d'imagerie de rayonnement X comprenant au moins une  
matrice détectrice en matériau semi-conducteur  
15 comportant des pixels, pour convertir les photons X incidents en charges électriques et un panneau de lecture de charges électriques, à base de silicium, comprenant une pluralité de dispositifs électroniques, chaque dispositif électronique étant intégré au niveau  
20 d'un pixel, caractérisé en ce que chaque matrice détectrice est réalisée par une couche en matériau semi-conducteur déposé en phase vapeur sur le panneau de lecture de charges électriques.

L'invention concerne donc un dispositif à base  
25 de semi-conducteur totalement intégré utilisé en imagerie radiologique permettant de réaliser des images numériques de grandes surfaces (par exemple de  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  à  $40 \times 40 \text{ cm}^2$ ). Ce dispositif présente l'avantage d'être une structure peu bruyante, avec une  
30 électronique évoluée lui permettant de fonctionner en mode mixte radiographie/radioscopie avec des rendements de fabrication élevés pour des coûts de fabrication modérés.

L'invention concerne également un procédé de  
35 réalisation d'un dispositif d'imagerie de rayonnement X

comprenant au moins une matrice détectrice en matériau semi-conducteur comportant des pixels, pour convertir les photons X incidents en charges électriques et un panneau de lecture de charges électriques, à base de silicium comprenant une pluralité de dispositifs électroniques, chaque dispositif électronique étant intégré au niveau d'un pixel, caractérisé en ce que chaque matrice détectrice est obtenue par dépôt sur le panneau de lecture de charges électriques d'un semi-conducteur en phase vapeur.

Avantageusement, les propriétés d'évaporation de ce semi-conducteur permettent un dépôt à faible température.

Avantageusement le matériau semi-conducteur utilisé pour réaliser la matrice de pixels détecteurs est du CdTe, HgI<sub>2</sub> ou PbI<sub>2</sub>.

Avantageusement on utilise des dispositifs électroniques réalisés par une filière technologique de 1,25 µm.

Avantageusement on utilise des dispositifs électroniques réalisés par une filière technologique de 0,1 µm.

Le procédé de l'invention est compatible avec la technologie du silicium monocristallin utilisée aujourd'hui en micro-électronique, ce qui présente les avantages suivants :

- Bénéficier des développements des filières micro-électroniques standards qui voit le diamètre des lingots de silicium augmenter au fil des ans (de 10 cm en 1980 à 35 cm en 2000) afin de limiter les coûts du détecteur totalement intégré.

- Supprimer les étapes de couplage ou de connectique entre les deux éléments puisqu'une couche détectrice à base de semi-conducteur est déposée directement sur le circuit de lecture à base de



silicium monocristallin comprenant une électronique avancée (préamplificateur, amplificateur, filtres...).

• Présenter la qualité cristalline du matériau détecteur par l'utilisation.

5

#### Brève description des figures

La figure 1 illustre le dispositif d'imagerie de rayonnement X de l'invention et son procédé de réalisation.

10 Les figures 2A à 2E illustrent le procédé de réalisation d'un dispositif d'imagerie radiologique selon l'invention.

#### Exposé détaillé de modes de réalisation

15 La présente invention concerne un dispositif d'imagerie de rayonnement X qui comprend au moins une matrice réalisée en matériau semi-conducteur, pour convertir les photons X incidents en charges électriques et comportant des pixels 11, chaque matrice  
20 étant disposée sur un panneau 10 de lecture de charges électriques à base de silicium monocristallin, comprenant une pluralité de dispositifs électroniques, chaque dispositif électronique étant intégré au niveau de chaque pixel 11 de ladite matrice.

25 Le panneau de lecture de charges, issu par exemple de filières classiques 0,1  $\mu\text{m}$  à 1,25  $\mu\text{m}$  de la micro-électronique (diamètre : quelques dix centimètres) est utilisé comme un substrat sur lequel est déposée la matrice en matériau détecteur à base de  
30 semi-conducteur, qui permet de convertir les photons X incidents en charges électriques.

La matrice en matériau semi-conducteur est par exemple déposée par la méthode CSVT à partir d'une source 12 contenant le matériau semi-conducteur 13,

dans une enceinte 14 sous atmosphère contrôlée d'un gaz inerte

Comme décrit dans le document référencé [2], l'élaboration de couches minces par la méthode CSVT  
5 (« Close-Spaced Vapor Transport ») a pour caractéristiques principales d'être facile à mettre en oeuvre, peu chère, et utilisable pour la croissance de grandes surfaces.

Dans l'invention la source 12 comportant le  
10 matériau semi-conducteur qui peut être massive ou sous forme de poudre est chauffée à une température T1 de l'ordre de 600°C. Le matériau semi-conducteur utilisé peut être par exemple du CdTe, du PbI<sub>2</sub>, ou du HgI<sub>2</sub>. Cette source 12 est séparée du substrat 10 par une  
15 courte distance qui varie de 1 à 10 mm. La température du substrat est régulée à une température T2 inférieure à celle de la source. Elle varie de 200°C à 600°C selon la nature du semi-conducteur utilisé et la qualité de la couche exigée. Le gradient de température qui est  
20 créé permet un transport de matière entre la source 12 et le substrat 10. Les propriétés physiques des semi-conducteurs tels que CdTe, PbI<sub>2</sub> ou HgI<sub>2</sub>, associées à l'utilisation d'une méthode CSVT permettent de ménager le substrat en ne lui imposant qu'une température (200  
25 à 450°C) compatible à la tenue en température du silicium des dispositifs électroniques.

Pour déposer une telle couche de semi-conducteur à faible température, différentes conditions  
30 doivent être remplies. On doit, en effet :

- chauffer la source jusqu'à sa température de sublimation,

- effectuer le dépôt, sur un matériau de façon à ce que la matière déposée puisse se réorganiser sous

forme de couche (le matériau peut être préalablement chauffé),

5 - optimiser la distance entre la source et le substrat de façon à obtenir une diffusion des vapeurs entre la source et le substrat soutenue et non dispersée,

10 - obtenir une vitesse de dépôt suffisamment élevée, c'est-à-dire supérieure à quelques  $\mu\text{m/h}$ , pour réaliser, en un temps de dépôt compatible avec une industrialisation du détecteur, une couche de quelques centaines de microns afin d'arrêter efficacement les photons,

15 - maintenir le substrat, qui comporte le circuit de lecture, à une température telle que le circuit ne soit pas détérioré (c'est-à-dire une température inférieure à  $450^{\circ}\text{C}$  pour du silicium monocristallin, inférieure à  $250^{\circ}\text{C}$  pour du silicium amorphe).

20 Pour choisir un matériau semi-conducteur utilisable, il est nécessaire de tenir compte de toutes ses propriétés physiques, et de réaliser un compromis. Pour un matériau donné, on a en effet les données suivantes :

25 - plus son numéro atomique  $z$  est élevé, plus son absorption est forte,

- plus sa densité est élevée, plus il absorbe de rayons X pour une même épaisseur (on vise une absorption entre 70% et 90%),

30 - plus sa résistivité est élevée, plus le bruit du détecteur est faible,

- plus l'énergie des paires électron-trou est faible, plus l'interaction du matériau avec les rayons X est source d'information électrique,

- la durée de vie doit être supérieure au temps d'extraction, qui est le temps nécessaire pour que les électrons et les trous sortent,

5       - plus la mobilité, qui est fonction du numéro atomique et de la densité, est élevée, plus le flux croît rapidement,

10       - plus le critère de qualité  $\mu\tau$ , qui est le produit de la mobilité par la durée de vie, est élevé, meilleure est la détection pour un champ électrique appliqué donné.

- à caractéristiques physiques équivalentes, le matériau nécessitant l'application d'un champ électrique le plus faible possible doit être choisi.

15       Le tableau 1, donné en fin de description, est un tableau comparatif de différents matériaux détecteurs possibles,  $E(V/cm)$  étant le champ électrique classiquement appliqué au matériau considéré

20       L'invention associe donc un matériau détecteur à base de semi-conducteur dont la méthode de dépôt permet de réaliser de grandes surfaces (quelques  $dm^2$ ) avec un circuit de lecture développé sur une pleine tranche de silicium monocristalline (de diamètre 10 à 30 cm) intégrant une électronique évoluée et dédiée à  
25       la détection du rayonnement X (amplification, filtres et traitements) pouvant être intégrée dans un pixel par exemple de 100 à 200  $\mu m$ .

30       On obtient ainsi un dispositif d'imagerie de rayonnement X de grande surface complètement intégré dont les performances en terme de rapport signal/bruit sont considérablement augmentées.

35       Dans ce dispositif d'imagerie, un dispositif électronique est disposé au plus près de chaque pixel détecteur. De ce fait, les capacités de liaison sont réduites à l'extrême et ceci a pour conséquence une

réduction importante du bruit de lecture par rapport aux dispositifs de l'art antérieur.

De plus, l'utilisation de dispositifs électroniques réalisés à partir de silicium monocristallin assure la réalisation d'amplificateur du  
5 signal détecté avec une excellente qualité.

Enfin, l'association d'un détecteur à faible capacité de liaison avec un dispositif électronique comportant un amplificateur de bonne qualité, confère  
10 au dispositif d'imagerie de l'invention un bruit de lecture négligeable, inférieur au bruit du photon, donnant ainsi accès aux images à faibles doses comme celle obtenues en mode radioscopie.

Ainsi, le dispositif d'imagerie de l'invention  
15 est apte à fonctionner aussi bien en mode radiographie qu'en mode radioscopie.

Chaque dispositif électronique, qui est dédié à la détection et au traitement de la charge déposée dans le matériau semi-conducteur, est un dispositif pouvant  
20 intégrer plusieurs fonctionnalités de la détection du rayonnement X. A titre d'exemple, le dispositif de l'invention comporte une électronique évoluée, comme décrite dans le document référencé [3], qui peut être intégrée dans un pixel par exemple de  $150\text{ }\mu\text{m} \times 150\text{ }\mu\text{m}$ .  
25 Chaque dispositif électronique peut comprendre un circuit de lecture et un circuit d'intégration (qui stocke une quantité d'électrons, qui sera transformée en tension analogique qui sera ensuite numérisée) et/ou un circuit de comptage. Avant ce bloc de base, il est  
30 possible d'ajouter des moyens pour éviter de saturer les moyens de lecture, par exemple avec le courant d'obscurité continu qui circule dans le détecteur.

L'invention concerne également le procédé de réalisation d'un tel dispositif d'imagerie. Ce procédé  
35 consiste donc comme décrit ci-dessus à transférer, par

phase vapeur, un semi-conducteur dont les propriétés d'évaporation autorisent un dépôt à faible température sur un substrat compatible avec sa tenue en température, substrat qui, dans le cas de la présente invention, est le circuit de lecture à base de silicium monocristallin intégrant l'électronique évoluée.

On va à présent considérer successivement deux modes de réalisation du dispositif d'imagerie de l'invention.

Dans un premier mode de réalisation, on utilise un substrat silicium 30 cm et on utilise une électronique réalisée par une filière technologique de 0,1  $\mu\text{m}$ .

La figure 2A illustre une tranche de silicium monocristallin 20 (diamètre 30 cm), la partie silicium monocristallin avec électronique intégrée étant référencée 21. Sur cette figure sont également représentés :

- les plots de pilotage et de commande 22 ;
- les pixels 23 de 100 à 200  $\mu\text{m}$  comprenant une électronique dédiée.

La figure 2B illustre la découpe 25 de 20 cm x 20 cm d'une tranche de silicium monocristallin avec électronique intégrée utilisée comme substrat lors du dépôt d'une couche semi-conductrice par la méthode CSVT.

Les figures 2C et 2D illustrent la couche de semi-conducteur 24 déposée par la méthode CSVT par exemple pour former un élément 25 de 20 cm x 20 cm.

La figure 2E illustre le raboutage de quatre éléments par exemple de 20 cm x 20 cm 25 pour obtenir un détecteur numérique de grande surface dédié à la radiologie, soit une surface (40 cm x 40 cm) conformément à l'exemple choisi.

Un tel mode de réalisation présente les avantages suivants :

- obtention d'un grand champ par assemblage de plusieurs détecteurs ;

5       - utilisation de fonctions électroniques très évoluées ;

- réalisation des dispositifs électroniques par des technologies de micro-électronique standard.

10       Dans un second mode de réalisation on considère un substrat silicium 15 cm et on utilise une électronique réalisée avec une filière technologique de 1,25  $\mu\text{m}$ . Une électronique réalisée avec ce type de technologie est largement suffisante pour intégrer

15 l'électronique dédiée à la radiologie dans un pixel de 100  $\mu\text{m}$ . Son intérêt se situe dans sa disponibilité immédiate avec des coûts de réalisation réduits. Pour des applications en radioscopie, on peut associer quatre détecteurs de 10 cm  $\times$  10 cm afin d'obtenir une

20 surface de détection de 20 cm  $\times$  20 cm, surface suffisante pour une application médicale.

Tableau 1

	Z	Densité	Résistivité (ohm.cm)	$\mu$ 60 keV (cm-1)	Epaire e-t (eV)	$\mu$ .tau électron (cm <sup>2</sup> /V)	E (V/cm)
Si	14	2,3	1,E+03	0,2	3,6	1,E-02	1,E+03
GaAsLPE	31	5,3	1,E+07	6	4,7	?	?
-	-						
	33						
a-Se	34	4,8	1,E+12	10,0	30-50	1,E-07	3,E+05
HgI2	80	6,4	5,E+10	31,0	4,2	1,E-07	1,E+04
céram.	-						
	53						
PbO	82	?	1,E+13	?	15	?	3,E+04
-	-						
	8						
PbI2	82	5,5	1,E+12 à	32,1	5	2 E-06	2,E+04
évap.	-		1,E+13				
	53						
CdTe	48	5,9	1,E+9 à	40,0	4,5	8,E-04	1,E+03
CSV	-		1,E+10				
	52						
TlBr	81	7,5	1,E+10	31,6	6,5	4,E-07	2,E+04
évap.	-						
	35						



REFERENCES

- 5 [1] « Amorphous Semiconductors Usher In Digital X-Ray Imaging » de John Rowlands et Safa Kasap (Physics Today, novembre 1997, pages 24 à 30)
- 10 [2] « Growth Of Semiconductors By The Close-Spaced Vapor Transport Technique : A Review » de G. Perrier, R. Philippe et J.P. Dodelet (J. Mater. Res. 3(5), septembre/octobre 1988, pages 1031 à 1042)
- 15 [3] « Readout For a 64x64 Pixel Matrix With 15-Bit Single Photon Counting » de M. Campbell, E.H.M. Heijne, G. Meddeler, E. Pernigotti et W. Snoeys (Nuclear Science Symposium, Albuquerque, 12 novembre 1997)

## REVENDICATIONS

1. Dispositif d'imagerie de rayonnement X comprenant au moins une matrice détectrice en matériau  
5 semi-conducteur comportant des pixels (11), pour convertir les photons X incidents en charges électriques et un panneau (10) de lecture de charges électriques, à base de silicium comprenant une pluralité de dispositifs électroniques, chaque  
10 dispositif électronique étant intégré au niveau d'un pixel (11), caractérisé en ce que chaque matrice détectrice est réalisée par une couche en matériau semi-conducteur déposé en phase vapeur sur le panneau de lecture de charges électriques.

15 2. Procédé de réalisation d'un dispositif d'imagerie de rayonnement X comprenant au moins une matrice détectrice en matériau semi-conducteur comportant des pixels (11), pour convertir les photons X incidents en charges électriques et un panneau (10)  
20 de lecture de charges électriques, à base de silicium comprenant une pluralité de dispositifs électroniques, chaque dispositif électronique étant intégré au niveau d'un pixel (11), caractérisé en ce que chaque matrice détectrice est obtenue par dépôt sur le panneau de  
25 lecture de charges électriques d'un semi-conducteur (13) en phase vapeur.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel les propriétés d'évaporation de ce semi-conducteur permettent un dépôt à faible température.

30 4. Procédé selon la revendication 2, dans lequel le matériau semi-conducteur utilisé pour réaliser la matrice de pixels détecteurs est du CdTe, du HgI<sub>2</sub>, ou du PbI<sub>2</sub>.

5. Procédé selon la revendication 2, dans lequel on utilise des dispositifs électroniques réalisés par une filière technologique de 1,25  $\mu\text{m}$ .

5 6. Procédé selon la revendication 2, dans lequel on utilise des dispositifs électroniques réalisés par une filière technologique de 0,1  $\mu\text{m}$ .



1/2

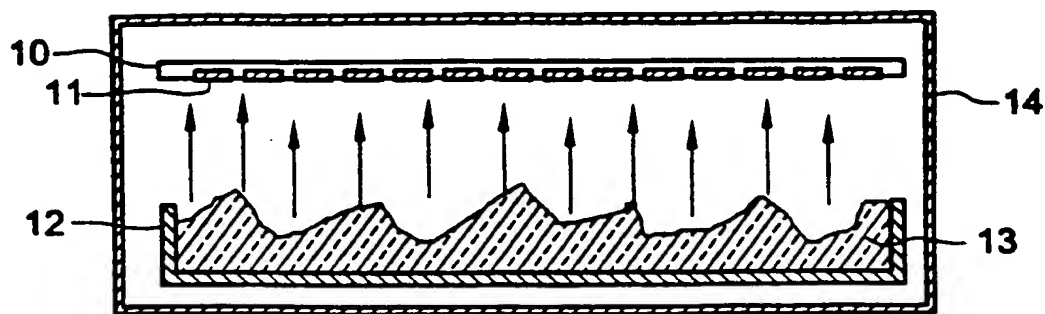


FIG. 1

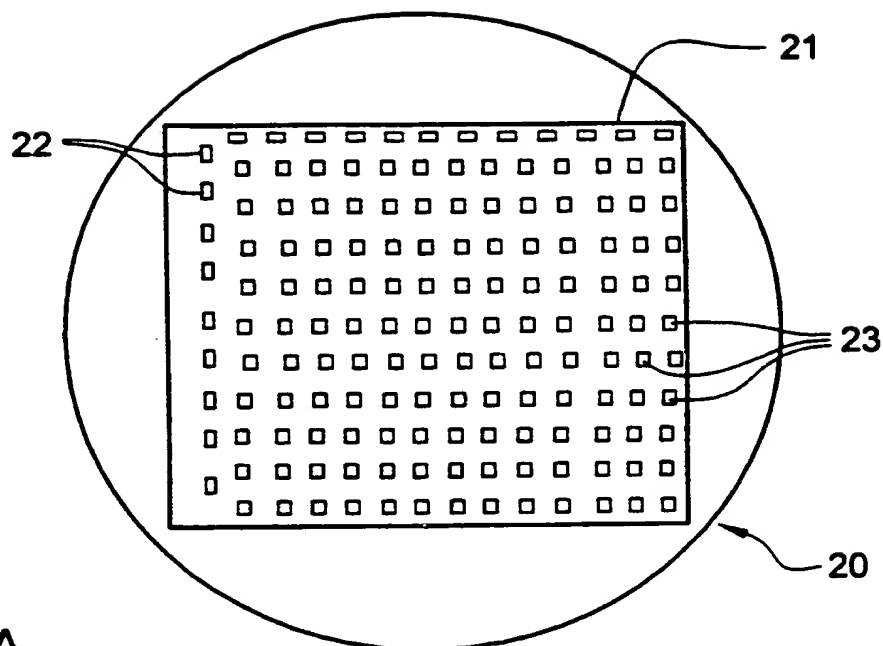


FIG. 2A

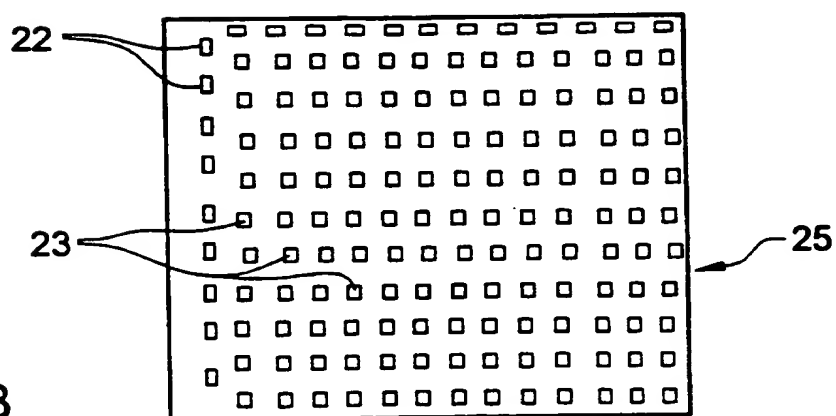


FIG. 2B



2/2

FIG. 2C

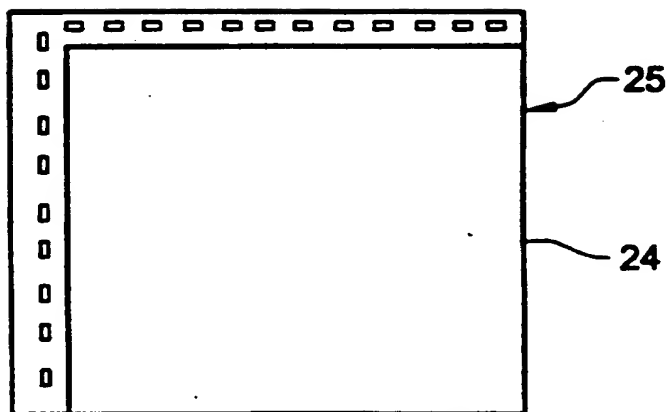
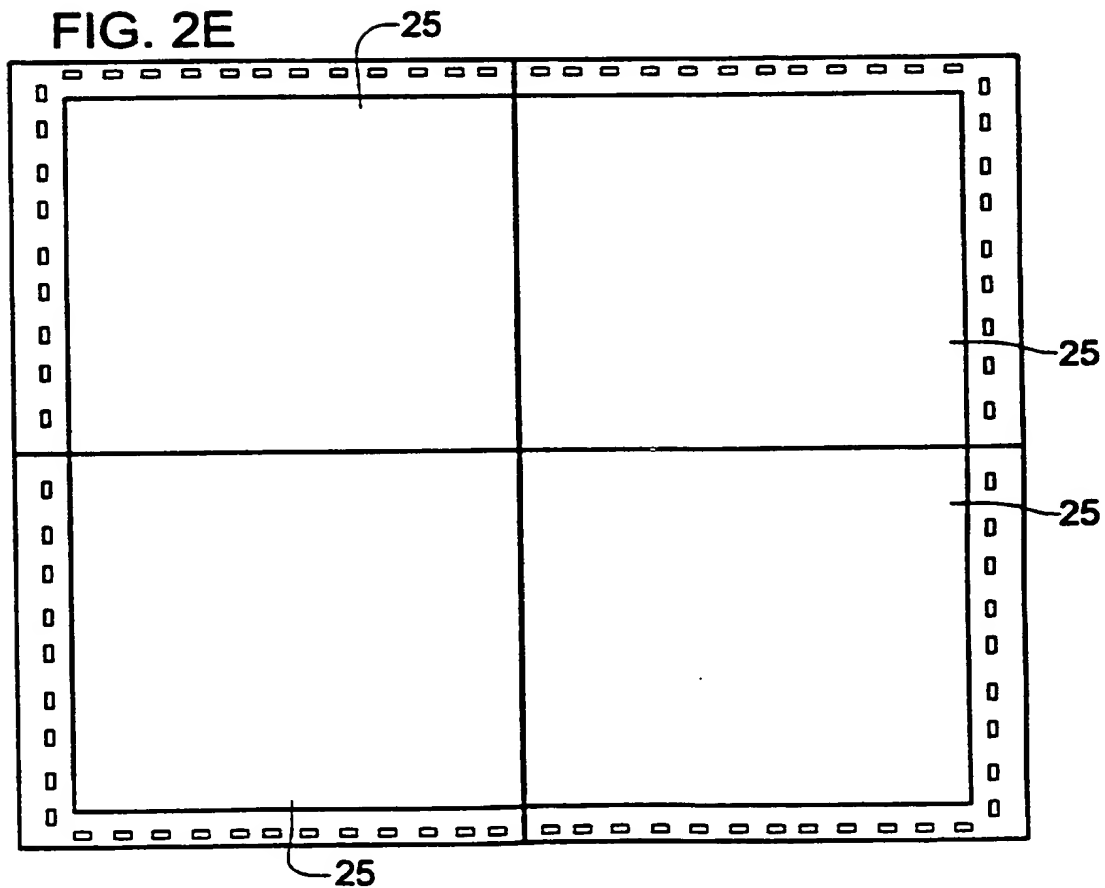


FIG. 2D



FIG. 2E







## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 00/00685

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01T1/24 H01L27/146

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01T H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 812 191 A (SARAKINOS MILTIADIS EVANGELOS ET AL) 22 September 1998 (1998-09-22) claims 1-61	1,4
Y	WO 96 33424 A (THERMOTREX CORP) 24 October 1996 (1996-10-24) page 43, line 8 -page 44; claims 1,25-34	1,4
A	J.ROWLANDS ET AL.: "amorphous semiconductors usher in digital x-ray imaging" PHYSICS TODAY, November 1997 (1997-11), pages 24-30, XP000907073 cited in the application page 27	1
	-/-	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 May 2000

Date of mailing of the international search report

13/06/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Van den Bulcke, E

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Patent Application No.

PCT/FR 00/00685

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2 318 411 A (SIMAGE OY) 22 April 1998 (1998-04-22) claim 1	1
P,A	WO 99 33260 A (SIMAGE OY) 1 July 1999 (1999-07-01) claims 1-8	1
A	GB 2 319 394 A (SIMAGE OY) 20 May 1998 (1998-05-20) claim 1	1
A	GB 2 318 448 A (SIMAGE OY) 22 April 1998 (1998-04-22) claim 1	1
A	WOUTERS S E ET AL: "EXPERIMENTAL DETECTOR CHIP FOR SOFT X-RAY APPLICATIONS" , NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - A: ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, VOL. A305, NR. 3, PAGE(S) 608 - 614 XP000240479 ISSN: 0168-9002 page 608 -page 614	1
A	WO 93 14418 A (UNIV MICHIGAN ; XEROX CORP (US)) 22 July 1993 (1993-07-22) claim 1	1
A	WO 95 18390 A (GEN ELECTRIC) 6 July 1995 (1995-07-06) claim 1	1
A	G.PERRIER ET AL.: "growth of semiconductors by the close-spaced vapor transport technique" JOURNAL OF MATERIALS RESEARCH, vol. 3(5), September 1988 (1988-09), pages 1031-1042, XP000911287 cited in the application page 1031 -page 1042	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 00/00685

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5812191	A	22-09-1998	GB 2289979 A	06-12-1995
			GB 2289981 A	06-12-1995
			GB 2289983 A, B	06-12-1995
			AT 172343 T	15-10-1998
			AU 691926 B	28-05-1998
			AU 2672095 A	21-12-1995
			CA 2191100 A	07-12-1995
			DE 69505375 D	19-11-1998
			DE 69505375 T	08-04-1999
			WO 9533332 A	07-12-1995
			EP 0763302 A	19-03-1997
			EP 0854643 A	22-07-1998
			EP 0854644 A	22-07-1998
			EP 0853427 A	15-07-1998
			EP 0854639 A	22-07-1998
			ES 2123991 T	16-01-1999
			FI 964728 A	02-12-1996
			GB 2289980 A	06-12-1995
			IL 113921 A	15-04-1997
			JP 10505469 T	26-05-1998
			NO 965104 A	03-02-1997
			NZ 287868 A	24-04-1997
			US 6035013 A	07-03-2000
WO 9633424	A	24-10-1996	US 5528043 A	18-06-1996
			AU 5566496 A	07-11-1996
			EP 0830619 A	25-03-1998
			US 5886353 A	23-03-1999
GB 2318411	A	22-04-1998	AU 4707397 A	11-05-1998
			WO 9816853 A	23-04-1998
			EP 0932842 A	04-08-1999
			NO 991780 A	15-06-1999
WO 9933260	A	01-07-1999	GB 2332800 A	30-06-1999
			GB 2332585 A	23-06-1999
			AU 1874699 A	12-07-1999
			AU 2153999 A	12-07-1999
			AU 2154099 A	12-07-1999
			WO 9933258 A	01-07-1999
			WO 9933259 A	01-07-1999
			GB 2332586 A	23-06-1999
GB 2319394	A	20-05-1998	AU 6091598 A	31-07-1998
			WO 9829904 A	09-07-1998
			EP 0948810 A	13-10-1999
			US 5952646 A	14-09-1999
GB 2318448	A	22-04-1998	AU 4943197 A	15-05-1998
			WO 9818166 A	30-04-1998
			EP 0946986 A	06-10-1999
WO 9314418	A	22-07-1993	US 5262649 A	16-11-1993
			AT 191977 T	15-05-2000
			CA 2127453 A	22-07-1993
			DE 69328447 D	25-05-2000
			EP 0724729 A	07-08-1996
			JP 7502865 T	23-03-1995

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 00/00685

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9518390 A	06-07-1995	US 5587591 A	24-12-1996
		DE 69417407 D	29-04-1999
		DE 69417407 T	07-10-1999
		EP 0686268 A	13-12-1995
		JP 8507659 T	13-08-1996

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De l'Organisation Mondiale du Commerce Internationale No

PCT/FR 00/00685

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 GO1T1/24 HO1L27/146

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 GO1T HO1L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 5 812 191 A (SARAKINOS MILTIADIS EVANGELOS ET AL) 22 septembre 1998 (1998-09-22) revendications 1-61	1,4
Y	WO 96 33424 A (THERMOTREX CORP) 24 octobre 1996 (1996-10-24) page 43, ligne 8 -page 44; revendications 1,25-34	1,4
A	J. ROWLANDS ET AL.: "amorphous semiconductors usher in digital x-ray imaging" PHYSICS TODAY, novembre 1997 (1997-11), pages 24-30, XP000907073 cité dans la demande page 27	1

-/--

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

29 mai 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

13/06/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Van den Bulcke, E

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	GB 2 318 411 A (SIMAGE OY) 22 avril 1998 (1998-04-22) revendication 1	1
P,A	WO 99 33260 A (SIMAGE OY) 1 juillet 1999 (1999-07-01) revendications 1-8	1
A	GB 2 319 394 A (SIMAGE OY) 20 mai 1998 (1998-05-20) revendication 1	1
A	GB 2 318 448 A (SIMAGE OY) 22 avril 1998 (1998-04-22) revendication 1	1
A	WOUTERS S E ET AL: "EXPERIMENTAL DETECTOR CHIP FOR SOFT X-RAY APPLICATIONS", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - A: ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, VOL. A305, NR. 3, PAGE(S) 608 - 614 XP000240479 ISSN: 0168-9002 page 608 -page 614	1
A	WO 93 14418 A (UNIV MICHIGAN ; XEROX CORP (US)) 22 juillet 1993 (1993-07-22) revendication 1	1
A	WO 95 18390 A (GEN ELECTRIC) 6 juillet 1995 (1995-07-06) revendication 1	1
A	G.PERRIER ET AL.: "growth of semiconductors by the close-spaced vapor transport technique" JOURNAL OF MATERIALS RESEARCH, vol. 3(5), septembre 1988 (1988-09), pages 1031-1042, XP000911287 cité dans la demande page 1031 -page 1042	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux m de familles de brevets

D Internationale No  
PCT/FR 00/00685

Document brev t cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5812191 A	22-09-1998	GB 2289979 A	06-12-1995
		GB 2289981 A	06-12-1995
		GB 2289983 A, B	06-12-1995
		AT 172343 T	15-10-1998
		AU 691926 B	28-05-1998
		AU 2672095 A	21-12-1995
		CA 2191100 A	07-12-1995
		DE 69505375 D	19-11-1998
		DE 69505375 T	08-04-1999
		WO 9533332 A	07-12-1995
		EP 0763302 A	19-03-1997
		EP 0854643 A	22-07-1998
		EP 0854644 A	22-07-1998
		EP 0853427 A	15-07-1998
		EP 0854639 A	22-07-1998
		ES 2123991 T	16-01-1999
		FI 964728 A	02-12-1996
		GB 2289980 A	06-12-1995
		IL 113921 A	15-04-1997
		JP 10505469 T	26-05-1998
WO 9633424 A	24-10-1996	US 5528043 A	18-06-1996
		AU 5566496 A	07-11-1996
		EP 0830619 A	25-03-1998
		US 5886353 A	23-03-1999
GB 2318411 A	22-04-1998	AU 4707397 A	11-05-1998
		WO 9816853 A	23-04-1998
		EP 0932842 A	04-08-1999
		NO 991780 A	15-06-1999
WO 9933260 A	01-07-1999	GB 2332800 A	30-06-1999
		GB 2332585 A	23-06-1999
		AU 1874699 A	12-07-1999
		AU 2153999 A	12-07-1999
		AU 2154099 A	12-07-1999
		WO 9933258 A	01-07-1999
		WO 9933259 A	01-07-1999
		GB 2332586 A	23-06-1999
GB 2319394 A	20-05-1998	AU 6091598 A	31-07-1998
		WO 9829904 A	09-07-1998
		EP 0948810 A	13-10-1999
		US 5952646 A	14-09-1999
GB 2318448 A	22-04-1998	AU 4943197 A	15-05-1998
		WO 9818166 A	30-04-1998
		EP 0946986 A	06-10-1999
WO 9314418 A	22-07-1993	US 5262649 A	16-11-1993
		AT 191977 T	15-05-2000
		CA 2127453 A	22-07-1993
		DE 69328447 D	25-05-2000
		EP 0724729 A	07-08-1996
		JP 7502865 T	23-03-1995

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Internationale No

PCT/FR 00/00685

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 9518390 A	06-07-1995	US 5587591 A	24-12-1996
		DE 69417407 D	29-04-1999
		DE 69417407 T	07-10-1999
		EP 0686268 A	13-12-1995
		JP 8507659 T	13-08-1996